

積分型非局所構成則の2次元への適用に関する基礎的研究

名古屋大学工学部

○岩山 一成

名古屋大学大学院

権 庸吉

名古屋大学大学院

正会員

李 相勲

名古屋大学大学院

正会員

中村 光

1. はじめに

軟化材料を用いる RC 構造物の有限要素解析において、局所的な変形の集中が生じることで、変位ならびにひずみの要素寸法依存性が生じることが知られている。この影響を低減させる方法の一つとして、空間平均化された非局所ひずみを定義して非局所構成則を用いる方法がある。

本研究では、2次元空間で空間平均化された非局所ひずみを定義して、非局所構成則を2次元 FEM 解析へ適用するための基礎的研究を行った。

2. 非局所構成則

非局所理論としては積分型理論、勾配理論、Cosserat 理論などが知られているが、本研究では Bazant らが提案した積分型非局所損傷理論¹⁾を適用した。積分型理論においては非局所ひずみ $\varepsilon_{nonlocal}$ は、局所ひずみ ε_{local} を図1のイメージ図で示すように、重み関数を考慮して空間積分領域で平均化(非局所化)することで求められる。

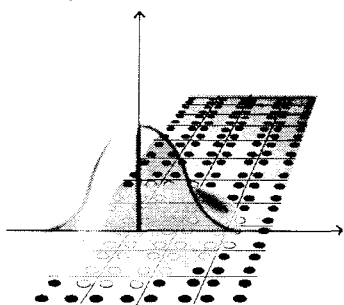


図1. 空間積分領域での平均化イメージ

実際の計算では、以下に示す式(1)で表せる。

$$\varepsilon_{nonlocal} = \frac{1}{V_r} \int_0^\ell \int_0^{2\pi} \varepsilon(r, \theta) \alpha(r, \theta) dr d\theta \quad (1)$$

$$V_r = \int_0^\ell \int_0^{2\pi} \alpha(r, \theta) dr d\theta$$

ここで、 V_r は空間平均化領域、 ℓ は特性長さ、 r 、 θ は平均化する領域内での極座標、 $\alpha(r, \theta)$ は重み関数である。本研究では簡単のため、 $\alpha(r, \theta)$ は円柱形

を仮定した。

また、応力は、損傷理論に基づき、式(2)より求められる。

$$\sigma = (1 - \Omega_{nonlocal}) E_0 \varepsilon_{local} \quad (2)$$

ここで、 $\Omega_{nonlocal}$ は、非局所ひずみの関数で表される損傷度パラメータであり、0 から 1 の値を持つ単調増加関数である。 E_0 は初期弾性係数である。本研究では、 $\Omega_{nonlocal}$ は応力-非局所ひずみ関係が Saentz の式とほぼ等しくなるように決定した²⁾。図2に用いた応力-非局所ひずみ関係と Kent and Park モデルと比較した図を示す。

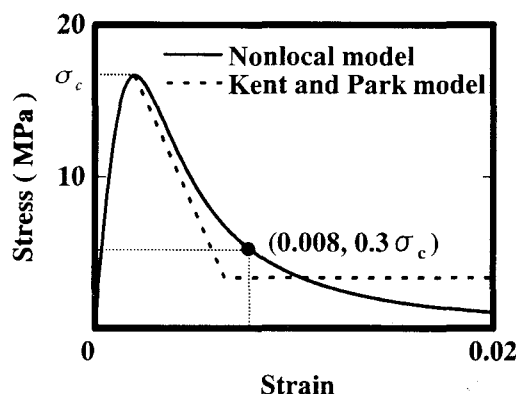


図2. 応力-非局所ひずみ関係

3. 二軸圧縮解析

非局所構成則の2次元 FEM 解析への適用の妥当性を検証するために二軸圧縮解析を行った。なお、本研究では構成則に格子等価連続体モデル (LECOM)³⁾を用いている。

解析モデルは図3に示すような高さ 10(cm)、幅 5(cm)の供試体で、図中の灰色の 1(cm)×1(cm)の領域は厚さを低減させることで弱点とし、局所化の起点とした領域である。要素寸法を 0.5×0.5(cm)と 1.0×1.0(cm)の2通りで行い、要素寸法の違いによる比較を行った。解析は変位制御で行い x,y 方向に等しい変位増分を与えた。

図4に非局所構成則を適用した解析(以下、非局

所理論解析)の荷重変位関係を示す。ここで、圧縮破壊エネルギーを考慮して要素寸法に依存した応力ひずみ関係を用いた一般的な局所理論解析(以下、圧縮破壊エネルギー解析)の結果も併せて示す。なお、非局所構成則を適用した解析では、特性長さ解析パラメータとして与えられるが、本研究では $\ell = 30\text{mm}$ と 60mm と仮定し、その影響についても検討した。

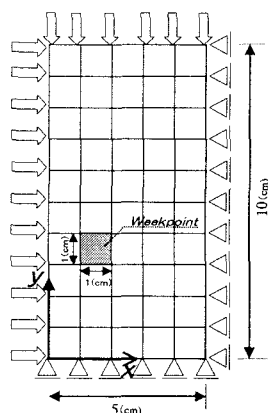


図3. 一軸圧縮解析モデル

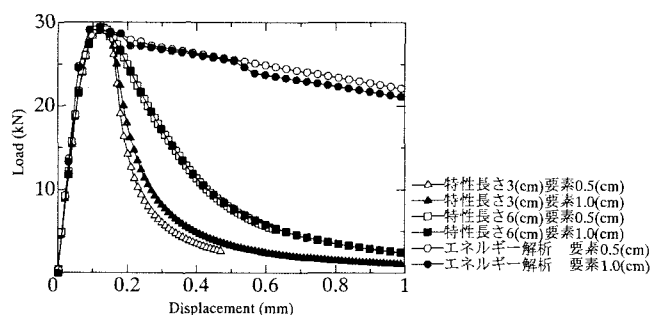


図4. 荷重変位関係

図4より、圧縮破壊エネルギー解析では、知られているように変位の要素寸法依存性が低減されていることが示された。一方、非局所理論解析でも、それぞれの特性長さに対してほぼ同一の荷重変位関係が得られており、唯一の応力-非局所ひずみ関係を用いた場合でも変位の要素寸法依存性が低減されていることが分かる。なお、荷重変位関係は、特性長さが長くなるほど最大荷重後緩やかになっている。したがって、非局所構成則を適用する場合には、特性長さの値について十分に配慮しなければならないことが分かる。

次に、図5に変位 0.4mm の時点での局所化の起点とした要素を含む断面内のx軸方向の局所ひずみ分布を示す。圧縮破壊エネルギー解析では、要素寸法が小さくなるほど局所的にひずみの値が大きくな

るひずみの要素寸法依存性が発生していることが示され、ひずみの唯一性が失われていることが分かる。一方、非局所理論解析(特性長さ 60mm)では、ひずみの広がりが確認され、要素寸法に依存しないほぼ同一の分布性状が得られ、その有効性が示された。

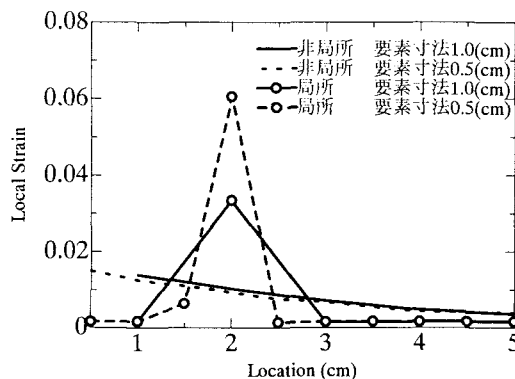


図5. x軸方向の局所ひずみ分布(変位 0.4mm 時点)

5. まとめ

非局所構成則を2次元FEM解析へ適用して二軸圧縮解析を行った結果、荷重変位関係の改善やひずみ分布の要素寸法依存性の低減などが示された。

現在、図6に示した曲げ圧縮破壊試験結果を用いてRC部材への適用を試みており、結果については当日発表する。

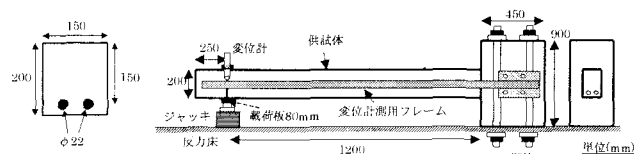


図6. 曲げ圧縮破壊供試体およびその断面

6. 参考文献

- 1) Bazant, Z.P・Planas, J : FRACTURE AND SIZE EFFECT in Concrete and Other Quasibrittle Materials, CRC Press, pp.489-525,1998
- 2) 諏訪ら：積分型非局所損傷理論を適用したファイバーモデルによるRC部材解析, コンクリート工学年次論文集, 第26巻第2号, pp.73-78,2004
- 3) 田邊忠顕：初期応力を考慮したRC構造物の非線形解析法とプログラム, 技報堂出版, 2004
- 4) 立松ら：柱基部におけるコンクリートの圧縮破壊領域に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 第19巻第2号, pp.897-902,1997